

## ДОЛЯ ДЕЙТЕРИЯ В ХОЛОДНЫХ ПЛОТНЫХ ЯДРАХ В ОБЛАСТИ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ L1688

И. В. Петрашкевич, А. Ф. Пуанова

*Уральский федеральный университет*

В работе изучена доля дейтерия в холодных плотных ядрах в области маломассивного звездообразования L1688. Для изучения доли дейтерия и ее зависимости от физических параметров холодного плотного ядра построены наблюдательные карты трех пар соединений ( $\text{N}_2\text{H}^+$  и  $\text{N}_2\text{D}^+$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{NH}_2\text{D}$ ,  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  и  $\text{DCO}^+$ ) в направлении четырех холодных плотных ядер. Наблюдения выполнены на телескопе IRAM 30m (кроме данных  $\text{NH}_3$ , взятых из обзора GAS по наблюдениям на GBT).

## DEUTERIUM FRACTION IN COLD DENSE CORES IN THE STAR-FORMING REGION L1688

I. V. Petrashkevich, A. F. Punanova

*Ural Federal University*

The work presents a study of deuterium fraction in cold dense cores in the low mass star-forming region L1688. To study the deuterium fraction and its correlation with physical conditions in a cold dense core, we produced the observational maps of three pairs of species ( $\text{N}_2\text{H}^+$  and  $\text{N}_2\text{D}^+$ ,  $\text{NH}_3$  and  $\text{NH}_2\text{D}$ ,  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  and  $\text{DCO}^+$ ) towards four cold dense cores. The observations were carried out with the IRAM 30m telescope (except for  $\text{NH}_3$  data taken from the GAS survey based on observations with GBT).

Дозвездные ядра — первая стадия образования звезд, их изучение важно для понимания начальных условий звездообразования. Это образующиеся в молекулярных облаках холодные плотные сгустки газа и пыли с температурой  $\simeq 10$  К и плотностью  $10^4\text{--}10^7\text{ см}^{-3}$ , с преобладанием тепловых движений частиц газа. В таких условиях доля дейтерия по отношению к водороду в составе молекул и ионов значительно увеличивается (до 0.01—1 при общем отношении дейтерия к водороду  $\simeq 1.5 \times 10^{-5}$ ). Благодаря этому высокая доля дейтерия в соединениях становится одним из индикаторов дозвездной фазы, а дейтерированные соединения — инструментом изучения холодного плотного газа дозвездных ядер.

Из-за химического фракционирования (превалирования в газе одних соединений над другими в зависимости от физических условий) разные соединения служат трассерами газа разной плотности и, следовательно, разных частей плотного ядра. Чтобы изучить, как доля дейтерия меняется в плотном ядре, мы построили наблюдательные карты (чтобы изучить пространственное распределение) трех пар соединений — трассеров газа разной плотности в направлении четырех плотных ядер одной области маломассивного звездообразования L1688. Мы использовали наблюдательные данные с телескопа IRAM 30m, а именно спектры переходов  $\text{N}_2\text{H}^+(1-0)$ ,  $\text{N}_2\text{D}^+(1-0)$ ,  $\text{N}_2\text{D}^+(2-1)$ ,  $\text{NH}_2\text{D}(1,1)$ ,  $\text{H}^{13}\text{CO}^+(1-0)$ ,  $\text{H}^{13}\text{CO}^+(2-1)$ ,  $\text{DCO}^+(1-0)$ ,  $\text{DCO}^+(2-1)$ ; также  $\text{NH}_3(1,1)$  мы взяли из работы [1]. Азотсодержащие соединения являются трассерами плотных областей дозвездных ядер, а углеродсодержащие соединения являются трассерами менее плотного газа оболочки ядра. С помощью аппроксимации линий переходов мы построили карты параметров этих переходов: температуры возбуждения, оптической толщины, лучевой скорости и дисперсии скорости. Лучевые концентрации соединений были рассчитаны с использованием полученных параметров в предположении локального термодинамического равновесия. Подробнее метод

описан в работе [2], где опубликована часть представленных здесь результатов. Долю дейтерия считали как отношение лучевых концентраций дейтерированной к водородсодержащей молекуле. На рис. 1 и 2 представлены карты доли дейтерия наблюдаемых соединений. На картах отображены те пиксели, где значения доли дейтерия  $>3\sigma$ .

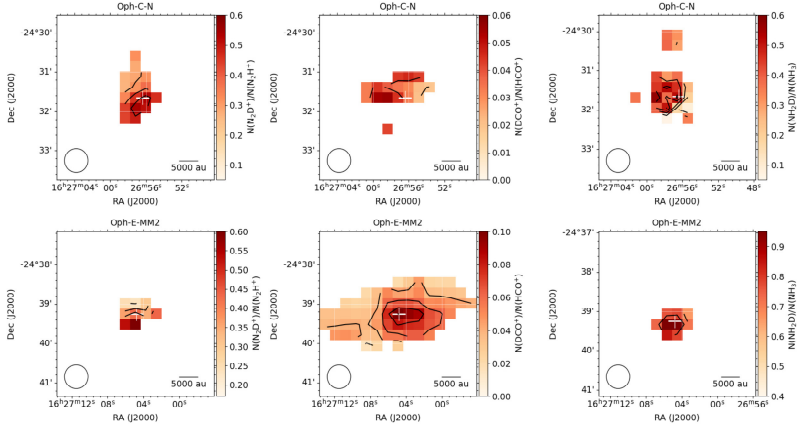


Рис. 1. Карты доли дейтерия соединений для ядер Oph-C-N и Oph-E-MM2: 1 — Oph-C-N,  $R(\text{N}_2\text{D}^+/\text{N}_2\text{H}^+)$ : начальный контур  $3\sigma$ , 0.19 с шагом контура 0.1; 2 — Oph-C-N,  $R(\text{DCO}^+/\text{H}^{13}\text{CO}^+)$ : начальный контур  $3\sigma$ , 0.02 с шагом контура 0.02; 3 — Oph-C-N,  $R(\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3)$ : начальный контур  $3\sigma$ , 0.2 с шагом контура 0.2; 4 — Oph-E-MM2,  $R(\text{N}_2\text{D}^+/\text{N}_2\text{H}^+)$ : начальный контур  $3\sigma$ , 0.15 с шагом контура 0.09; 5 — Oph-E-MM2,  $R(\text{DCO}^+/\text{H}^{13}\text{CO}^+)$ : начальный контур  $3\sigma$ , 0.02 с шагом контура 0.02; 6 — Oph-E-MM2,  $R(\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3)$ : начальный контур  $3\sigma$ , 0.4 с шагом контура 0.1. Размер луча показан в нижнем левом углу каждой карты

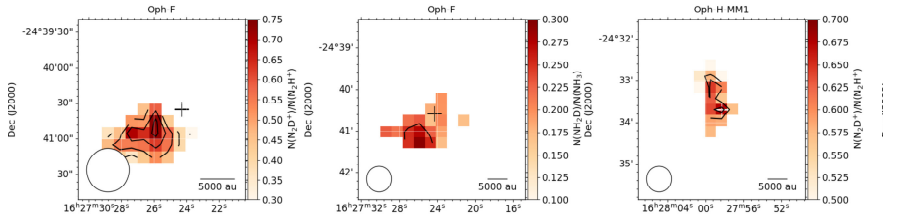


Рис. 2. Карты доли дейтерия соединений для ядер Oph-F и Oph-H-MM1: 1 — Oph-F,  $R(\text{N}_2\text{D}^+/\text{N}_2\text{H}^+)$ : начальный контур  $3\sigma$ , 0.3 с шагом контура 0.1; 2 — Oph-F,  $R(\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3)$ : начальный контур  $3\sigma$ , 0.12 с шагом контура 0.12; 3 — Oph-H-MM1,  $R(\text{N}_2\text{D}^+/\text{N}_2\text{H}^+)$ : начальный контур  $3\sigma$ , 0.55 с шагом контура 0.05. Размер луча показан в нижнем левом углу каждой карты

Мы попытались найти корреляцию значения доли дейтерия с физическими параметрами плотных ядер — температурой газа из работы [1], температурой пыли и лучевой концентрацией молекулярного водорода из работы [3], дисперсией скорости частиц газа (по нашим данным). На рис. 3 представлены зависимости доли дейтерия от физических параметров. Мы не нашли корреляции доли дейтерия с лучевой концентрацией водорода и

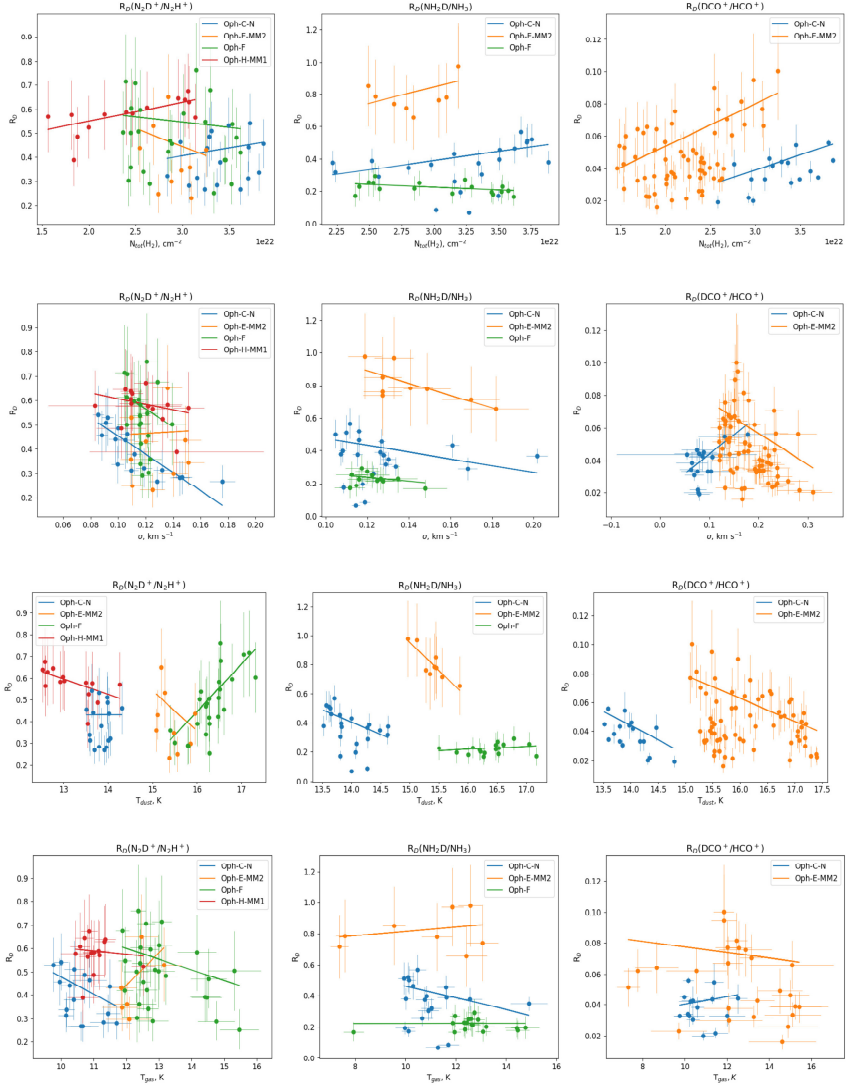


Рис. 3. Зависимости доли дейтерия от физических параметров среды. Для каждого ядра на графиках приведены линейные аппроксимации

температурой газа, возможно, из-за того, что эти величины варьируются в очень небольших диапазонах. Мы обнаружили, что доля дейтерия уменьшается с ростом температуры пыли и дисперсии скорости газа, что не противоречит теоретическим представлениям о процессе фракционирования дейтерия, однако, учитывая разброс значений доли дейтерия и бары ошибок, эти тренды нельзя считать значимыми.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект 19-72-00064.

## Библиографические ссылки

- [1] *Friesen Rachel K., Pineda Jaime E., co-PIs et al.* The Green Bank Ammonia Survey: First Results of  $\text{NH}_3$  Mapping of the Gould Belt // *Astrophys. J.* — 2017. — Vol. 843, № 1. — P. 63. 1704.06318.
- [2] *Petrashkevich I. V., Punanova A. F., Caselli P. et al.* Deuterium Fractionation in the Oph-H-MM1 Dense Core of the L1688 Low Mass Star-Forming Region // *Astronomy Reports.* — 2020. — Vol. 64, № 8. — P. 637–640.
- [3] *Ladjelate B., André Ph., Könyves V. et al.* The Herschel view of the dense core population in the Ophiuchus molecular cloud // *Astron. Astrophys.* — 2020. — Vol. 638. — P. A74. 2001.11036.